

Projekt modeli przestrzennych części maszyn okrętowych typu pokrywa, śruba i uszczelka z wykorzystaniem druku 3D

Tematem pracy była analiza możliwości zastosowania technologii druku 3D do wytwarzania części maszyn okrętowych na przykładzie pokrywy, śruby i uszczelki pompy zębatej ORSTA Afü 1.0/16.

We wstępie pracy podkreślono znaczenie technologii przyrostowych dla przemysłu okrętowego. Tradycyjne metody wytwarzania, takie jak odlewanie czy obróbka skrawaniem, są czasochłonne i wymagają dostępu do odpowiednich maszyn, co w przypadku awarii na morzu bywa problematyczne. Druk 3D daje możliwość szybkiego wykonania części zamiennych nawet w ograniczonych warunkach, eliminując potrzebę magazynowania dużych ilości części i skracając czas przestoju jednostek pływających. Rozwój tej technologii, rozpoczęty w latach 80-tych XX wieku, obecnie umożliwia wytwarzanie elementów nie tylko z tworzyw sztucznych, ale także z metali czy kompozytów o wysokiej wytrzymałości, co otwiera nowe perspektywy dla branży morskiej.

Celem pracy było wykonanie projektu modeli przestrzennych części maszyn okrętowych typu pokrywa, śruba i uszczelka.

W pierwszej części pracy dokonano przeglądu technologii druku 3D.

W przypadku metali szczegółowo omówiono technologie takie jak:

- EBM (ang. Electron Beam Melting) – wykorzystująca wiązkę elektronów w komorze próżniowej, umożliwiającą pracę z reaktywnymi materiałami, np. tytanem,
- SLM (ang. Selective Laser Melting) – metoda topienia proszku laserem, dająca elementy o wysokiej dokładności i wytrzymałości porównywalnej do tradycyjnych odlewów,
- BJ (ang. Binder Jetting) – polegająca na łączeniu proszku metalowego płynnym spoiwem, charakteryzująca się dużą wydajnością produkcji,
- WAAM (ang. Wire Arc Additive Manufacturing) – bazująca na procesie spawania łukowego drutem metalowym, umożliwiającą drukowanie dużych elementów,
- DMD (ang. Direct Metal Deposition) – w której proszek metalu jest наносzony bezpośrednio do źródła ciepła, co pozwala na precyzyjne kształtowanie detali,

- NPJ (ang. NanoParticle Jetting) – metoda polegająca na natryskiwaniu tuszu zawierającego nanocząstki materiału i jego spiekaniu.

Następnie przedstawiono technologie wykorzystujące tworzywa sztuczne.

- FDM (ang. Fused Deposition Modeling) – w której stopiony filament nanoszony jest warstwowo,
- CFF (ang. Continuous Filament Fabrication) – które pozwalają na wytwarzanie detali z wzmocnieniami kompozytowymi,
- PE (ang. Pellet Extrusion) – technologia wykorzystująca granulaty tworzyw sztucznych zamiast materiału budulcowego w postaci drutu.

Kolejną grupę stanowią technologie oparte na płynnych żywicach światłoutwardzalnych, takie jak:

- SLA (ang. Stereolithography) – technologia polegająca na utwardzaniu płynnej żywicy światłem lasera, umożliwiającą uzyskanie bardzo wysokiej precyzji i gładkich powierzchni,
- DLP (ang. Digital Light Processing) – wykorzystuje projektor światła do jednoczesnego utwardzania całych warstw żywicy, co skraca czas druku w porównaniu z SLA,
- mSLA (ang. Masked Stereolithography) – stosuje ekran LCD z podświetleniem UV do maskowania i naświetlania żywicy, zapewniając dużą szybkość i niskie koszty produkcji,
- PJ (ang. Poly Jet) – polega na natryskiwaniu fotopolimeru w postaci mikrokropelek i ich utwardzaniu światłem UV, co umożliwia druk w wielu materiałach i kolorach jednocześnie.

Na końcu wspomniano o technologiach wykorzystujących ceramikę, pozwala on tworzyć trwałe, odporne chemicznie i termicznie elementy o skomplikowanej geometrii, znajdując zastosowanie w przemyśle, medycynie czy architekturze. Technologie takie jak SLA, SLM czy BJ oferują różne metody przetwarzania ceramiki, choć ich wadami są wysokie koszty, ograniczenia wielkości oraz ryzyko skurczu i uszkodzeń cienkich struktur.

Podkreślono, że każda z metod ma swoje specyficzne zalety i ograniczenia. Technologie polimerowe są łatwo dostępne i tanie, ale ograniczone pod względem właściwości mechanicznych. Z kolei druk metali zapewnia parametry zbliżone do tradycyjnych metod wytwarzania, lecz wiąże się z wysokimi kosztami i koniecznością specjalistycznego sprzętu. Druk z żywic gwarantuje wysoką precyzję, lecz materiały te są mniej odporne mechanicznie.

Opisano również materiały stosowane w druku 3D. Filamenty PET-G (ang.

Polyethylene Terephthalate - Glycol), z którego została wykonana pokrywa i TPU (ang. Thermoplastic Polyurethane), z którego została wykonana uszczelka cechującą się elastycznością i odpornością na czynniki środowiskowe, co czyni je odpowiednimi do produkcji uszczelek. Materiały ASA (ang. Acrylonitrile Styrene Acrylate), PC (ang. Polycarbonate) i PCABS (ang. Polycarbonate Acrylonitrile Butadiene Styrene) zostały zbadane pod kątem ich wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie – są to tworzywa o podwyższonej odporności na temperaturę, promieniowanie UV i obciążenia mechaniczne. W pracy szczególną uwagę poświęcono również drukowi z proszków metali, wykorzystując stal narzędziową 1.2709, która znalazła zastosowanie w druku śrub.

W części obliczeniowej przeprowadzono analizę podstawowych obciążeń. Pokrywa została potraktowana jako płyta kołowsymetryczna poddana ciśnieniu wewnętrznemu. Obliczono największe wartości naprężeń, porównując je z wytrzymałością materiałów zastosowanych w wydruku. Uszczelka została poddana analizie ściskania, a śruba sprawdzona pod względem naprężeń rozciągających i momentu skręcającego. Obliczenia potwierdziły, że elementy mogą sprostać wymaganiom pracy eksploatacyjnej, o ile zostaną wykonane z odpowiednich materiałów.

W części projektowej wykonano modele 3D części maszyn – pokrywy, śruby i uszczelki. Etap ten jest kluczowy dla późniejszego wytworzenia elementów metodą druku 3D. Proces rozpoczyna się od zwymiarowania elementów, a następnie wymiary te przenoszone są do programu Autodesk Inventor.

W pracy opisano kolejne etapy projektowania – wybór trybu pracy w programie, określenie płaszczyzny szkicu, stworzenie rysunku 2D i jego przekształcenie w bryłę 3D z użyciem narzędzi takich jak wyciągnięcie czy wycięcie. Na końcu powstaje pełny model przestrzenny, gotowy do dalszego przygotowania pod druk 3D

W części badawczej wykonano szereg eksperymentów. Dla próbek z filamentów przeprowadzono próby rozciągania i ściskania. Badano takie parametry jak wytrzymałość na rozciąganie R_m , wytrzymałość na ściskanie R_c , odkształcenie ε oraz moduł Young'a E . Dodatkowo analizowano wpływ gęstości wypełnienia na wyniki – stosowano wartości od 10% do 90%. Wyniki pokazały, że im wyższe wypełnienie, tym większa wytrzymałość próbek, jednak przyrosty nie były liniowe.

Następnie przebadano śruby wykonane z proszków metalowych metodą SLM. Poddano je próbom maksymalnego momentu obrotowego za pomocą klucza dynamometrycznego, aż do zerwania. Wyniki wskazały, że śruby te osiągały parametry zbliżone do elementów tradycyjnych, co potwierdza ich przydatność w praktyce. Badania mikroskopowe ujawniły

obecność porów i mikropeknięć w strukturze, jednak nie obniżały one istotnie ogólnej wytrzymałości. Wskazano także konieczność dalszego doskonalenia procesu druku i obróbki cieplnej w celu minimalizacji naprężeń własnych i poprawy jednorodności struktury.

Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia wytrzymałościowe potwierdziły tezę, że elementy przeznaczone do wydruku na drukarce 3D w technologii FDM mogą zostać użyte podczas eksploatacji. Każdy z elementów wydrukowany z filamentów, czyli pokrywa (wydrukowana z PET-G) i uszczelka (uszczelka wydrukowana z TPU) wykazywały wyższą wytrzymałość niż to co jest wymagane, natomiast śruby, gdyby były wydrukowane z tworzywa sztucznego nie spełniałyby wymaganej wytrzymałości. Śruby zostały wydrukowane technologią do druku użyto proszków ze stali narzędziowej 1.2709. Przeprowadzone badania wytrzymałościowe na rozciąganie i ściskanie różnych materiałów ASA, PC i PCABS oraz kombinacji z gęstością wypełnienia dowiodły, jak zmienia się ich wytrzymałość. Mianowicie dowiedziono, że gęstość wypełnienia ma znaczenie, ale relatywnie małe procenty wypełnień mogą również dać już pożądane skutki w niektórych przypadkach. Analiza technologii druku przestrzennego przeznaczonych do produkcji części maszyn i urządzeń okrętowych jest kluczowa z wielu powodów. Przede wszystkim, możliwość szybkiego tworzenia prototypów oraz testowania różnych projektów poprawia efektywność i skraca czas wytwarzania. Niemniej jednak, przy drukowaniu przestrzennym części okrętowych istotne jest, aby używane materiały były wystarczająco wytrzymałe, odporne na korozję i zdolne do przetrwania trudnych warunków morskich, a także zadbanie o odpowiednie warunki podczas druku, w przypadku drukowania na statku będzie to zapewnienie niskiego poziomu wilgotności oraz stabilności podczas druku, które mogłoby być zakłócone przez występujące fale na morzu, a co za tym idzie kołysanie statkiem. W związku z tym konieczne jest dokładne dobranie odpowiednich materiałów i technologii druku. Na rynku dostępne są różnorodne technologie umożliwiające druk z tworzyw sztucznych, aż po metale. Wybór odpowiedniej technologii zależy od wielu czynników, takich jak rodzaj części, preferowany materiał, oczekiwana jakość, koszt itd. Warto podkreślić, że w branży okrętowej priorytetem są bezpieczeństwo i niezawodność. Części drukowane 3D muszą spełniać wysokie standardy wytrzymałościowe i jakościowe. W związku z tym wdrożenie technologii druku 3D w produkcji części okrętowych wymaga dokładnego testowania procesu i materiałów, a także uzyskania odpowiednich certyfikatów i zatwierdzeń.